



**Maître d'Ouvrage :**



**Port fluvial de Nogent sur Oise (60)**

## **Rapport d'analyse du Diagnostic Géotechnique**



***Version 1***

***Avril 2013***

CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

## SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE .....</b>	<b>2</b>
<b>1. CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ETUDE .....</b>	<b>3</b>
1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE .....	3
1.2. OBJET DU RAPPORT .....	3
<b>2. DOCUMENT DE REFERENCE.....</b>	<b>4</b>
<b>3. PRESENTATION STRUCTUREL DES QUAIS .....</b>	<b>5</b>
3.1. LOCALISATION DU SITE .....	5
3.2. STRUCTURE DU QUAI N°1 (ENTREPOT) .....	6
3.3. STRUCTURE DU QUAI N°2 (SILOS).....	8
<b>4. ANALYSE DES HYPOTHESES ET METHODES DE CALCUL .....</b>	<b>10</b>
4.1. ANALYSE DE LA METHODE DE CALCUL (RAPPORT DIAGNOSTIC).....	10
4.1.1. Méthode de calcul adoptée par l'entreprise GINGER.....	10
4.1.2. Analyse du paragraphe : Efforts maximaux admissibles par l'ancrage .....	10
4.1.3. Analyse du paragraphe : « Efforts repris par les tirants : Etat actuel du quai » .....	11
4.1.4. Analyse du paragraphe : « Efforts repris par les tirants : Application d'une charge ».....	13
4.1.5. Analyse du paragraphe : « Vérification de la stabilité au renversement et de la résistance à la flexion des palplanches ».....	16
4.1.6. Analyse du paragraphe : « Tassement sous la grue ».....	20
4.2. ANALYSE ET OBSERVATIONS SUR LE HYPOTHESES PRISES EN COMPTE.....	20
4.2.1. Hypothèses géotechniques .....	20
4.2.2. Hypothèses sur les caractéristiques géométriques / mécaniques de la structure .....	22
4.2.3. Hypothèses de surcharges .....	22
4.2.4. Hypothèses de calcul.....	22
<b>5. REALISATION DE CALCULS COMPARATIFS .....</b>	<b>25</b>
<b>6. CONCLUSION .....</b>	<b>27</b>
<b>TABLE DES ANNEXES .....</b>	<b>28</b>
<b>ANNEXE 1.....</b>	<b>29</b>
<b>ANNEXE 2.....</b>	<b>30</b>

CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

## 1. Contexte et objectif de l'étude

### 1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE

L'étude concerne les quais de Nogent-sur-Oise gérés depuis 1972 par la Chambre de Commerce et d'Industrie de l'Oise (CCIO). Au regard du développement portuaire (futur canal seine nord en amont) et de la date de construction des 2 quais existants du port (construits dans les années 70), la CCIO souhaite connaître la résistance actuelle des sols des quais et des rideaux de palplanches.

L'objectif est de poursuivre à terme un programme d'aménagement du port adapté aux futurs besoins avec, entre autre, le souhait de développer une activité de déchargement avec une grue mobile exerçant une pression de 10 t/m<sup>2</sup>.

Les quais sont actuellement construits en rideaux de palplanches ancrés par un muret en béton armé à l'aide d'une ou plusieurs files de tirants selon les configurations. L'objectif de l'étude est donc de connaître les capacités de résistance du port dans sa configuration actuelle afin de déterminer les possibilités d'aménagement, ceci tout en évitant un tassement trop important des quais et l'effondrement des rideaux de palplanches.

### 1.2. OBJET DU RAPPORT

L'entreprise GINGER CEBTP, et notamment l'agence d'Amiens, a été missionnée par la Chambre de Commerce et d'Industrie de l'Oise (CCIO) pour une mission géotechnique comprenant :

- la modélisation des quais pour l'étude de stabilité des rideaux de palplanches
- l'évaluation des tassements sous les surcharges de grue
- la fourniture de préconisations pour aménager et éventuellement renforcer le site

Pour répondre à cette demande, l'entreprise GINGER a établi :

- un rapport d'investigations géotechniques où figure une partie des résultats des sondages effectués sur site (notamment les sondages pressiométriques, carottés et destructifs),
- un rapport de reconnaissance géophysique par méthode de radar géologique,
- un rapport de diagnostic des 3 quais où figurent notamment les calculs de tassement et de vérification de stabilité du rideau de palplanches.

Nous intervenons sur cette étude pour le compte de la Chambre de Commerce et d'Industrie de l'Oise (CCIO) dans le but d'effectuer une analyse des hypothèses et des méthodes de calcul prises en compte par l'entreprise GINGER CEBTP pour la justification des quais.

CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

## 2. Document de référence

---

Pour la rédaction de ce rapport, nous nous sommes basés sur les éléments suivants :

- L'ensemble des rapports établis par l'entreprise GINGER CEBTP :
  - Rapport d'investigations géotechniques et résultats des sondages indice 1 du 30/01/2013
  - Rapport de reconnaissance géophysique par méthode de radar géologique Version 0 du 22/12/2012
  - Rapport de diagnostic des 3 quais Version 1 du 05/03/2012
- Les plans des ouvrages existants
  - Plans de structure du quai n°1 (zone entrepôt) datant de 1973
  - Plans de structure du quai n°2 (zone silos) datant de 1976
  - Plans de zonage des terre-pleins de Décembre 2011
- Le CCTP d'étude de résistance du port fluvial de Nogent-sur-Oise
- Une note relatant l'historique d'aménagement du port de Nogent-sur-Oise datant du 05/04/2013



CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

### 3. Présentation structurel des quais

#### 3.1. LOCALISATION DU SITE

Le site est situé dans le département de l'Oise (60) et notamment sur la commune de Nogent-sur-Oise.

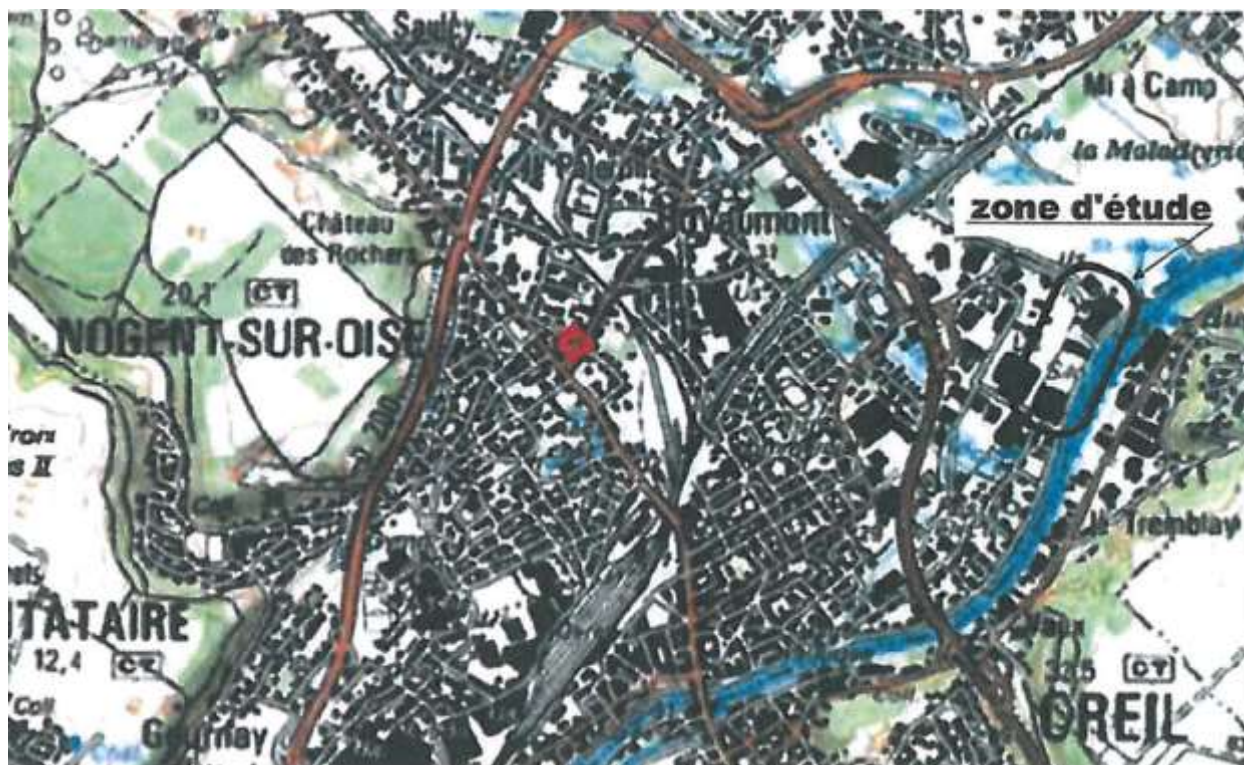


Figure 1: Localisation du site



Figure 2 : Localisation du site

CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

La zone d'étude est décomposée en 3 zones :

- Zone de quai n°1 (zone entrepôt)
- Zone de quai n°2 (zone silos)
- Zone de quai n°3 (zone de quai futur)

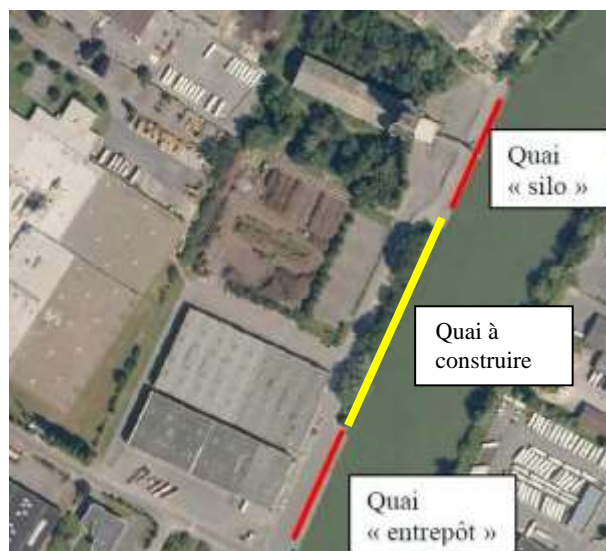


Figure 3 : Zonage des quais

### 3.2. STRUCTURE DU QUAI N°1 (ENTREPOT)

Le quai n°1 est réalisé par la mise en place d'un rideau de palplanches type SL5 (Larsen) ancrées à une profondeur d'environ 12,5m. Dans les zones courantes, le rideau de palplanches est ancré aux murets par une file de tirants positionnée à l'horizontal. Ces tirants sont situés à une profondeur d'environ de 2m par rapport au terrain naturel et ont une longueur de l'ordre de 13.25m. Dans d'autres zones, une deuxième file de tirants est mise en place en position inclinée sous la file horizontale.

Les caractéristiques des tirants sont identiques sur toute la zone du quai n°1. Les tirants sont de type refoulé de diamètre 60/72 et de 3,60m d'entraxe.

Les rideaux de palplanches sont couronnés par une poutre en béton armé de section 0,5x0,4 sur lesquels sont fixés les bollards.

Les murets d'ancrage sont constitués par des murs en béton d'épaisseur 0,35m et de hauteur 2,10m dans les zones « courantes ». Pour les autres zones, il semble que les murs soient plus hauts, nous supposons 3,20m. Ceci est à confirmer. En effet les plans dont nous disposons sont entrecoupés et ne permettent pas une visibilité de l'ensemble du projet. De la même manière nous ne sommes pas en mesure de localiser les différentes zones où sont effectuées les coupes ni même évaluer leur longueur d'application.

CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	



Figure 4 : Illustration du quai n°1

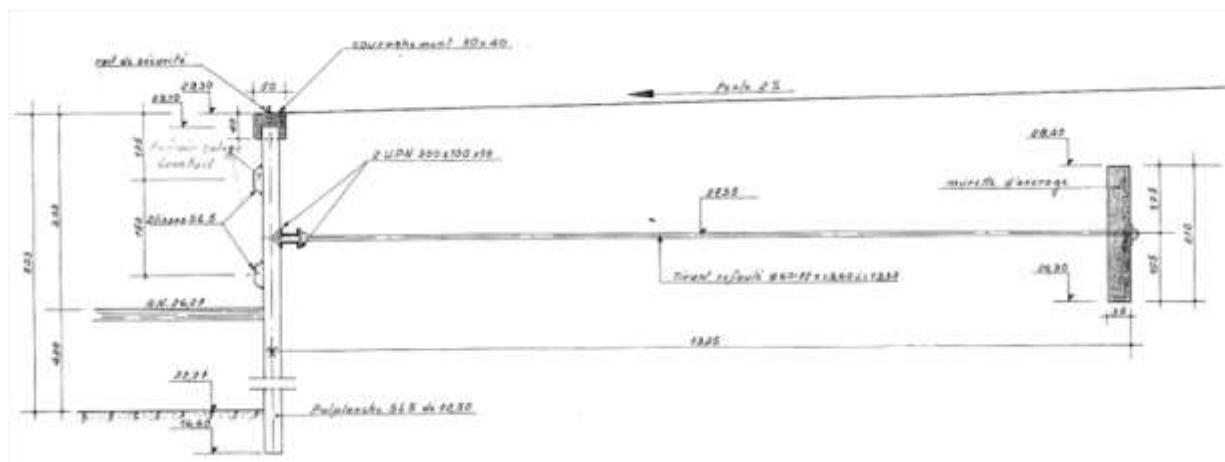


Figure 5 : Principe de structure en zone « courante »

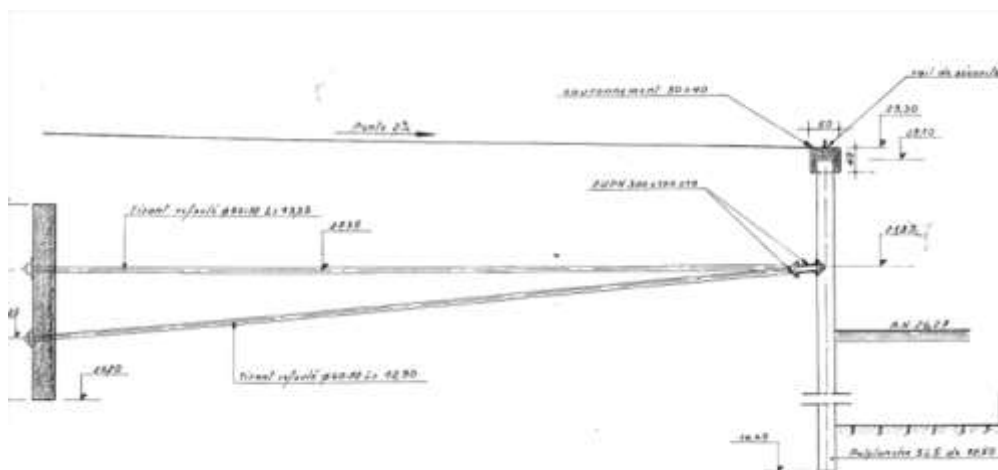


Figure 6 : Principe de structure en zone particulière

CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

### 3.3. STRUCTURE DU QUAÏ N°2 (SILOS)

Le quai n°2 est réalisé par la mise en place d'un rideau de palplanches type SL5 (Larsen) ancrées à une profondeur d'environ 11,8m. Dans les zones courantes, le rideau de palplanches est ancré aux murets par une file de tirant positionnée à l'horizontal. Ces tirants sont situés à une profondeur d'environ de 2m par rapport au TN et ont une longueur de l'ordre de 14.85m. Dans d'autres zones, une deuxième file de tirant est mise en place en position inclinée au-dessus de la file horizontale.

Les tirants horizontaux sont de type refoulé de diamètre 60/72, de 3,60m d'entraxe, pour une longueur de 14,85m. Les tirants inclinés sont de type standard de diamètre 42, pour une longueur de 12,10m.

Les rideaux de palplanches sont couronnés par une poutre en béton armé de section 0,5x0,4 sur lesquels sont fixés les bollards.

Les murets d'ancrage sont constitués par des murs en béton d'épaisseur 0,35m et de hauteur 2,10m dans les zones « courantes » et 2,50m dans les autres zones.



Figure 7 : Illustration du quai n°2





CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

## 4. Analyse des hypothèses et méthodes de calcul

### 4.1. ANALYSE DE LA METHODE DE CALCUL (RAPPORT DIAGNOSTIC)

L'analyse qui suit porte principalement sur le paragraphe 4 « *calculs et résultats* » du rapport diagnostic géotechnique du 05/03/2012.

#### 4.1.1. Méthode de calcul adoptée par l'entreprise GINGER

La méthode que l'entreprise GINGER semble avoir adoptée est la suivante :

- Déterminer les efforts maximaux admissibles par l'ancrage (tirants et murets) afin d'en déduire le paramètre dimensionnant
- Calcul de l'effort repris par les tirants sous charges permanentes uniquement, puis sous phase exploitation (prise en compte de l'effet de la grue mobile)
- Vérification de la stabilité au renversement de la palplanche (défaut de butée) et de la résistance à la flexion des palplanches (vérification des contraintes) par le biais d'un modèle K-REA.

#### 4.1.2. Analyse du paragraphe : Efforts maximaux admissibles par l'ancrage

Dans ce paragraphe, l'entreprise GINGER semble vouloir déterminer le paramètre dimensionnant de l'ancrage tirant + rideau arrière en déterminant les limites pour lesquelles l'un des deux éléments se retrouve instable. Le but étant :

- Dans le cas où la rupture du tirant survient avant l'instabilité du muret (vérification du défaut de butée), de limiter la contrainte dans les tirants à sa contrainte max qui vaut  $2/3 \sigma_e$  (à l'ELS)
- Dans le cas où l'instabilité du muret survient avant la rupture de tirant, de limiter la contrainte dans les tirants à la valeur pour laquelle on atteint l'instabilité du muret.

⇒ Pour le calcul de la charge limite des tirants, l'entreprise GINGER vérifie l'inégalité suivante :

$$F \leq 2/3 \times \sigma_e \times S \quad \text{Où } F \text{ est la traction dans les tirants à l'ELS}$$

#### Observations sur la méthode :

Cette vérification est tout à fait justifiée.

⇒ Pour la vérification de la stabilité du tirant, l'entreprise GINGER vérifie que :

$$\frac{\text{Butée mobilisable (B)}}{\text{Effort réel (T)}} > 1,50$$

CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

Où : T est calculé par la formule :  $T = \text{Butée mobilisable} \times \text{hauteur du muret d'ancrage}$   
B est calculé par la formule :  $B = K_p \cdot \gamma \cdot z - K_a \cdot \gamma \cdot z$

### **Observations sur la méthode :**

Selon la norme NF P 94-282, la vérification du défaut de butée s'effectue en vérifiant les conditions suivantes :

	$\frac{\text{Butée mobilisable}}{\text{Butée mobilisée}} > 1,50$ en phase provisoire
	$\frac{\text{Butée mobilisable}}{\text{Butée mobilisée}} > 1,90$ en phase définitive

Il apparaît que le quotient vérifié dans le rapport GINGER CEBTP, ne correspond pas à une vérification du défaut de butée telle que définie dans les règlements usuels (dans son rapport GINGER remplace la valeur de la butée mobilisée par un effort « réel » T). De plus, des interrogations se posent quant à ce que représente la valeur de T au regard de la méthode de calcul employée.

Le calcul de la butée mobilisable n'est pas conforme. Elle se calcule par la formule :

	$\text{Butée mobilisable} = K_p \cdot \gamma \cdot z$
--	---

De plus, il est nécessaire de faire la différence entre les phases provisoires et définitives étant donné que le coefficient à vérifier est différent.

⇒ La méthode de calcul utilisée pour vérifier le paramètre dimensionnement de l'ancrage du rideau de palplanches ne semble pas adaptée et non conforme aux réglementations usuelles. De plus, dans les vérifications réalisées dans ce paragraphe, l'entreprise cherche à déterminer le paramètre dimensionnant entre la résistance du tirant et le critère limite de défaut de butée. Or, le critère de résistance du muret en béton peut aussi s'avérer être dimensionnant.

### **4.1.3. Analyse du paragraphe : « Efforts repris par les tirants : Etat actuel du quai »**

Dans ce paragraphe, l'entreprise GINGER CEBTP semble vouloir déterminer l'effort de traction agissant dans le tirant uniquement sous charge permanente.

### **Observations sur les hypothèses prises en compte :**

Dans son rapport, l'entreprise GINGER CEBTP considère que « *le rideau de palplanches est parfaitement encastré à partir de la cote du fond* ». Il est à noter que les rideaux de palplanches constituent des éléments souples de même que les matériaux des différentes couches de sol, on ne peut donc pas, en pratique, être considéré un encastrement parfait.

Cette hypothèse faite par GINGER CEBTP peut s'expliquer par les valeurs de cohésion prises en compte pour les couches de sol situées en profondeur. Si on regarde les hypothèses géotechniques présentées

CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

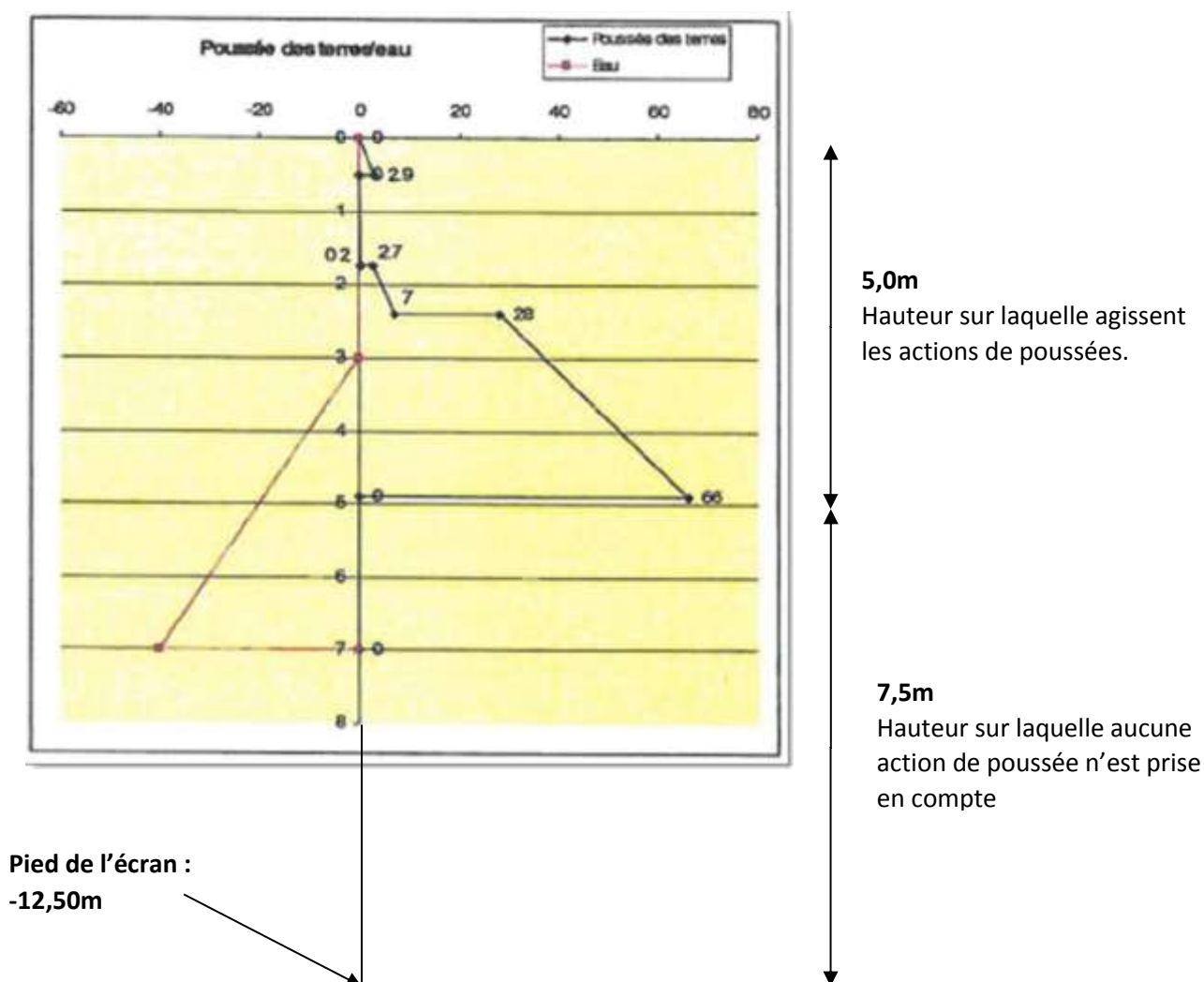
pour le quai n°1, on remarque qu'une cohésion relativement importante (100 kPa) est prise en compte à partir du niveau 24,4 NGF.

En prenant l'hypothèse d'un encastrement parfait et une cohésion de 100 kPa, le calcul revient à ne considérer aucune poussée sur le rideau sous le niveau 24,4 NGF, ce qui correspond à une longueur de 7,50m pour une longueur totale de palplanches de l'ordre de 12,50m. Autrement dit, 60% de la longueur du rideau de palplanches n'est pas soumis à la poussée des terres, ce qui nous semble très optimiste.

Ceci nous amène à nous interroger quant au fait de savoir si les valeurs prises en compte pour la cohésion sont issues des essais en laboratoire ou si elles ont été estimées afin de pouvoir admettre l'encastrement du rideau de palplanche.

#### **Observations sur le diagramme de poussée :**

Le diagramme ci-dessous correspond au diagramme de poussée des terres et de l'eau présenté dans le rapport GINGER CEBTP pour l'étude du quai n°1 (hors surcharges d'exploitation)



CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

Les hypothèses géotechniques associées sont les suivantes :

Nature du sol	Base de la couche (m)	pl (MPa)	Em (MPa)	$\alpha$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c^*$ (kPa)	$\phi^*$ (°)	Kh (MN/m <sup>3</sup> )
Plateforme	+28.8	-	-	-	21	11	0	34	220
Sable 1	+27.55	1.6	17	1/3	20	10	10	30	132
Sable 2	+26.9	1.0	10	1/3	20	10	8	30	65
Argile sableuse	+24.4	0.6	4.5	1/2	20	10	0	15	13
Grave et sable 1	+22.3	3.3	40	1/3	21	11	100	40	415
Grave et sable 2	+19.8	2.2	23	1/3	21	11	100	40	198
Sable argileux 1	+15.3	4.2	55	1/2	22	12	100	40	364
Sable argileux 2	/	4.2	250	1/2	22	12	100	40	2745

Au regard de ce diagramme nous nous sommes interrogés sur les points suivants :

- La poussée de l'eau côté terre a-t-elle été prise en compte ?
- Quels sont les poids volumiques de sol pris en compte ? (humide ou déjàugé)
- Quel paramètre justifie, par exemple, le passage de 7 à 28 kPa au niveau 24,4 ?

Les informations fournies dans le rapport ne nous permettent pas de retrouver l'ensemble des valeurs présentées dans les différents diagrammes. Il en résulte donc le même constat quant aux valeurs de traction dans les tirants puisqu'elles découlent de ces diagrammes.

#### 4.1.4. Analyse du paragraphe : « Efforts repris par les tirants : Application d'une charge »

Dans ce paragraphe, l'entreprise GINGER CEBTP semble vouloir déterminer l'effort de traction agissant dans le tirant en phase d'exploitation (mise en place du chargement de la grue mobile).

##### Observations sur les hypothèses prises en compte :

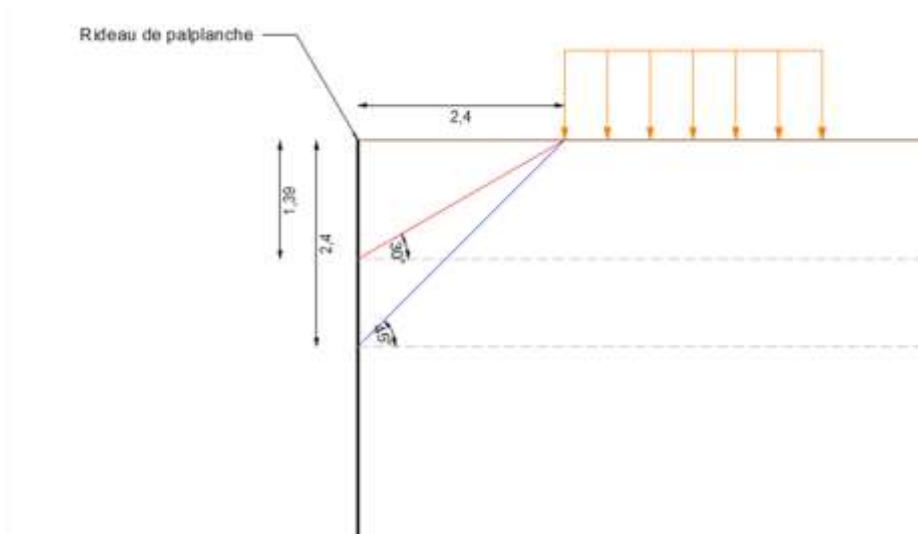
Les mêmes observations que celles énoncées dans le paragraphe précédent sont portées aux diagrammes exposés dans ce paragraphe.

Dans cette configuration, l'entreprise GINGER CEBTP considère l'application d'une charge répartie à partir de 2,4m du bord du rideau. On suppose, au regard des résultats des efforts de traction présentés dans les différentes configurations, qu'il s'agit d'une condition pour assurer la non rupture des tirants et par conséquent la stabilité du rideau.

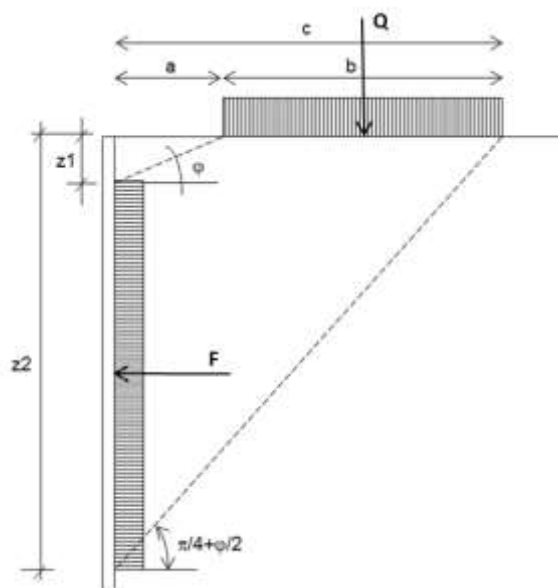
Pour évaluer l'influence des surcharges sur l'écran, l'entreprise GINGER CEBTP considère une diffusion des contraintes à 45°. Or l'angle de diffusion des contraintes est fonction de l'angle de frottement du sol (plutôt de l'ordre de 30°) comme utilisé dans la méthode de Krey. La configuration à 45° tend à une configuration plus optimiste (cf schéma représentatif ci-après).



CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	



Fonctionnement de la méthode de Krey :



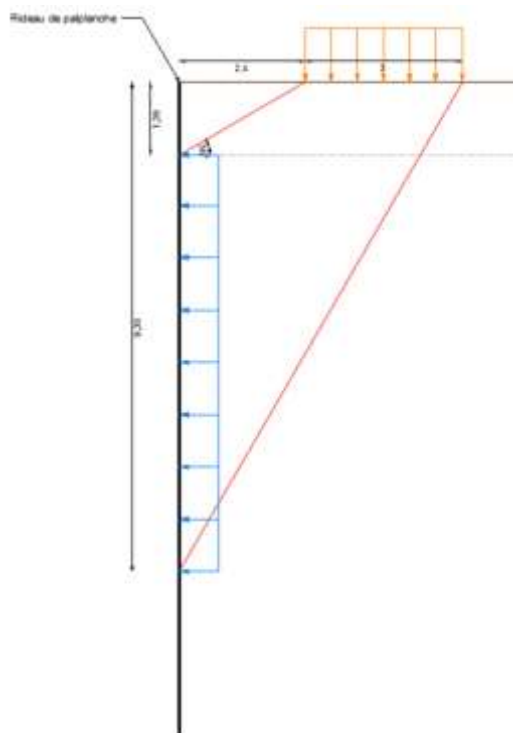
#### Observations sur le diagramme de poussée :

Si on prend l'exemple du quai n°1 le rapport mentionne que :

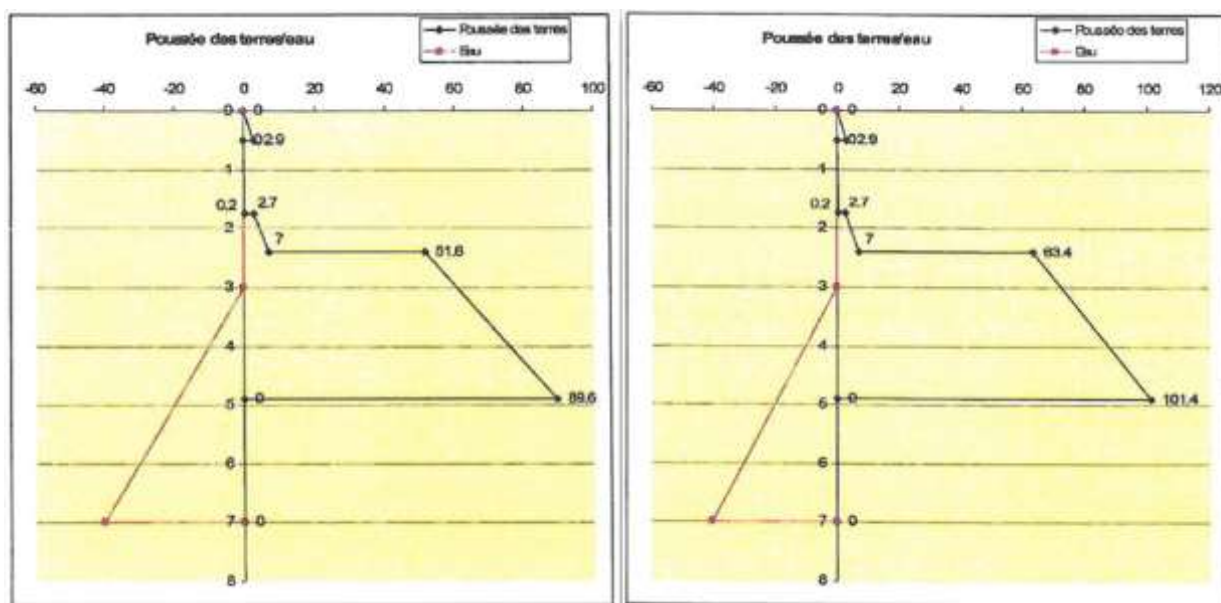
- Sous une surcharge de 60 kPa, la contrainte résiduelle est de 40 kPa à 2,4 m de profondeur,
- Sous une surcharge de 90 kPa, la contrainte résiduelle est de 60 kPa à 2,4 m de profondeur,

En pratique, l'impact d'une surcharge répartie sur le terrain correspond à une contrainte uniforme sur l'écran (cf schéma explicatif ci-dessous) à cumuler avec les efforts de poussée sur l'écran. Cette contrainte est estimée à 40 ou 60 kPa par l'entreprise GINGER selon la configuration étudiée.

CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	



Les diagrammes ci-dessous représentent les diagrammes de poussée dans les cas d'une surcharge de 60 kPa et de 90 kPa pour le quai n°1.



Surcharge de 60 kPa

Surcharge de 90 kPa

Si on observe les contraintes obtenues à 2,4m de profondeur :

- Contrainte sans surcharges : 28,0 kPa
  - Contrainte avec surcharges 60 kPa : 51,6 kPa
  - Contrainte avec surcharges 90 kPa : 63,4 kPa
- $\Delta = 23,6 \text{ kPa}$   
 $\Delta = 11,8 \text{ kPa}$

CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

On peut constater qu'on ne retrouve pas les contraintes annoncées de 40kPa et 60 kPa. Ce qui confirme nos interrogations quant aux paramètres pris en compte pour l'établissement du diagramme ainsi que la manière dont est prise en compte la poussée des surcharges.

En conclusion de ce paragraphe, l'entreprise GINGER CEBTP mentionne que les surcharges devront être limitées en cas de baisse du niveau hydraulique. Il est important d'estimer les niveaux maxi et mini à la fois côté rivière et côté terre, ces paramètres ayant un facteur significatif sur les résultats des calculs et donc sur les charges admissibles sur le quai.

#### **4.1.5. Analyse du paragraphe : « Vérification de la stabilité au renversement et de la résistance à la flexion des palplanches »**

Dans ce paragraphe, l'entreprise GINGER CEBTP effectue les vérifications nécessaires à la stabilité du rideau de palplanches :

- Vérification du défaut de butée,
- Vérification des contraintes dans le rideau,
- Vérification des déplacements maximaux.

##### **Observations sur les vérifications effectuées :**

Pour la vérification des contraintes, l'entreprise GINGER CEBTP prend en compte les modules de flexion (rapport I/v) en section non corrodée. Or, les palplanches sont déjà en place depuis plusieurs années et sont destinées l'être encore pendant plusieurs années. Il est donc indispensable de prendre en compte la corrosion des palplanches.

##### **Observations sur la modélisation K-REA :**

La modélisation comporte deux phases. Pour chacune des deux phases, l'ancrage du rideau principal est modélisé par une force horizontale dont l'intensité dépend de la phase étudiée (avec ou sans prise en compte des surcharges). La modélisation, telle que réalisée par l'entreprise GINGER CEBTP, n'a pour but que d'effectuer les vérifications de défaut de butée et estimer les efforts de flexion qui transitent dans le rideau de palplanches.

Les observations qu'amène cette modélisation sont les suivantes :

- Le principe de calcul fait intervenir à la fois un calcul du rideau en rupture (par le fait que les tirants sont modélisés par une force horizontale) et un calcul élasto-plastique (qui prend en compte le phasage).
- La modélisation ne fait pas intervenir la raideur de l'écran arrière.

Dans le cas de l'étude d'un système double rideau ancré, deux méthodes de modélisation sont possibles :

CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

▪ Modélisation d'un rideau simple tirant

Cette méthode consiste à modéliser un rideau simple et la présence d'un tirant. Les caractéristiques géométriques et mécaniques de l'écran correspondent à celles du rideau principal. Le paramètre permettant la modélisation du tirant est la raideur de ce dernier. Pour prendre en compte la présence du rideau arrière dans ce type de modélisation, la raideur prise en compte dans la modélisation du tirant est appelée : raideur équivalente. La raideur équivalente inclut la raideur du tirant réel ainsi que celle de l'écran arrière. Elle est calculée de la manière suivante :

Soit la raideur du tirant réel  $K1$  (t/ml)

$$K1 = E \times S / L$$

- $E$  = Module d'élasticité du tirant
- $S$  = Section du tirant
- $L$  = Longueur du tirant

Soit la raideur de l'écran arrière  $K2$  (t/ml)

$$K2 = F / d$$

- $F$  = Force appliquée sur le rideau arrière au niveau de l'ancrage du tirant / rideau arrière
- $d$  = Déplacement du rideau arrière au niveau de l'ancrage tirant / rideau arrière

On en déduit la raideur équivalente du système tirant + écran arrière  $Ke$  (t/ml)

$$1/Ke = 1/K1 + 1/K2$$

Le déplacement de l'écran arrière est calculé à partir d'un modèle AMRetain, K-REA ou RIDO.

Cette méthode de calcul permet de prendre en compte un système élasto-plastique et de définir les efforts de traction dans les tirants pour chacune des phases (pas de calcul intermédiaire en rupture comme réalisé dans le rapport analysé).

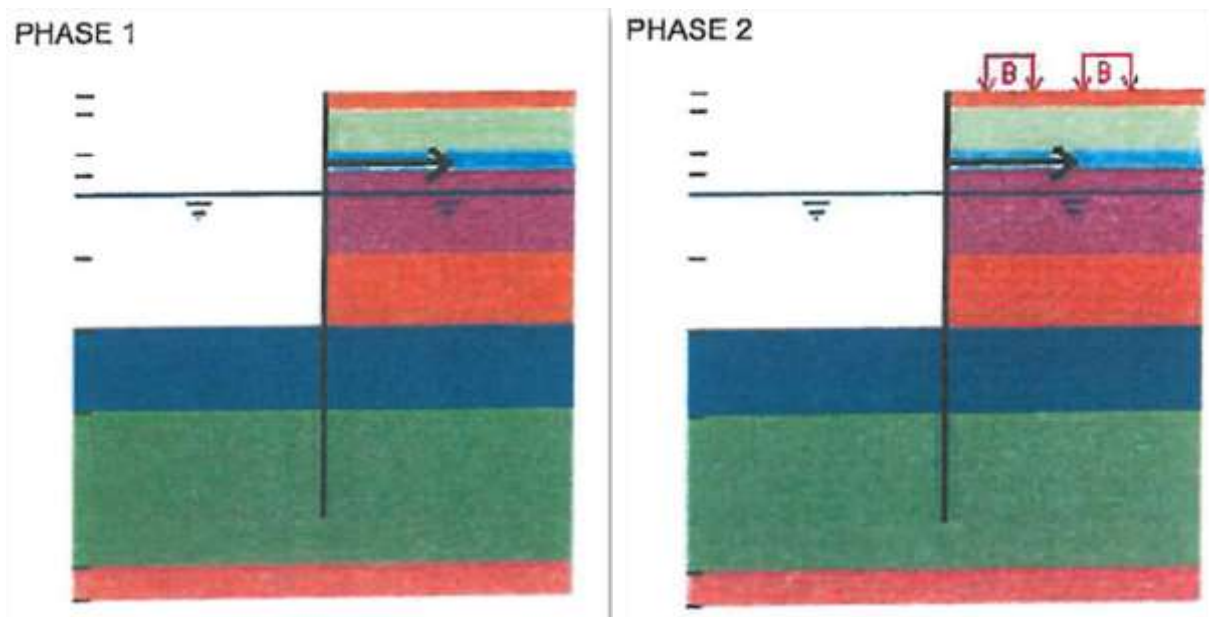
▪ Modélisation d'un double rideau

Les versions récentes du logiciel K-REA permettent, lorsque l'option double-rideau est activée, de modéliser le système double rideau dans son intégralité. Ainsi chacun des deux rideaux est modélisé avec ses propres caractéristiques mécaniques et géométriques et le tirant par sa raideur réelle. Les résultats permettent de vérifier les sollicitations agissant dans chacun des rideaux mais aussi dans les tirants.

**Observations sur les résultats K-REA**

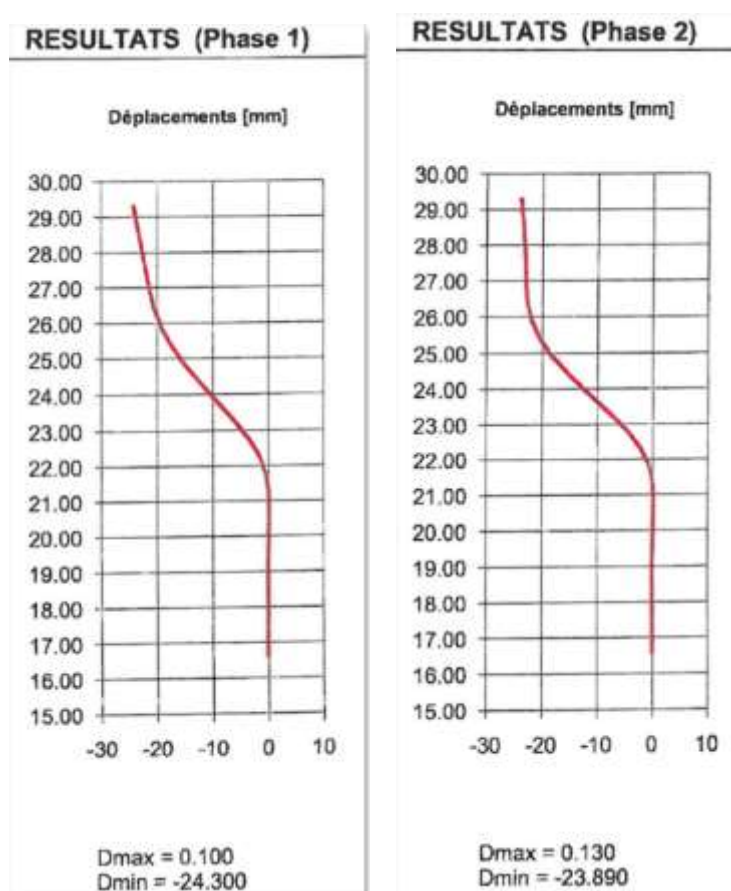
Ci-dessous les deux phases telles qu'elles ont été modélisées dans le rapport pour le quai n°1:

CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	



La lithologie, les caractéristiques mécaniques et géométriques de l'écran considéré sont identiques pour ces deux phases. Est modifiée en phase 2, uniquement la valeur de la force horizontale ainsi que l'ajout des surcharges.

On peut observer les déformées suivantes :

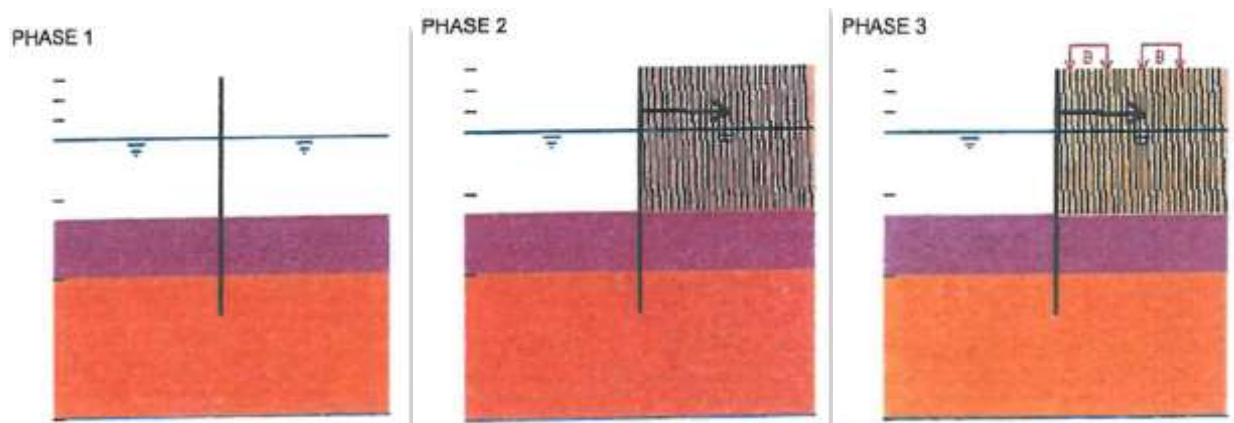




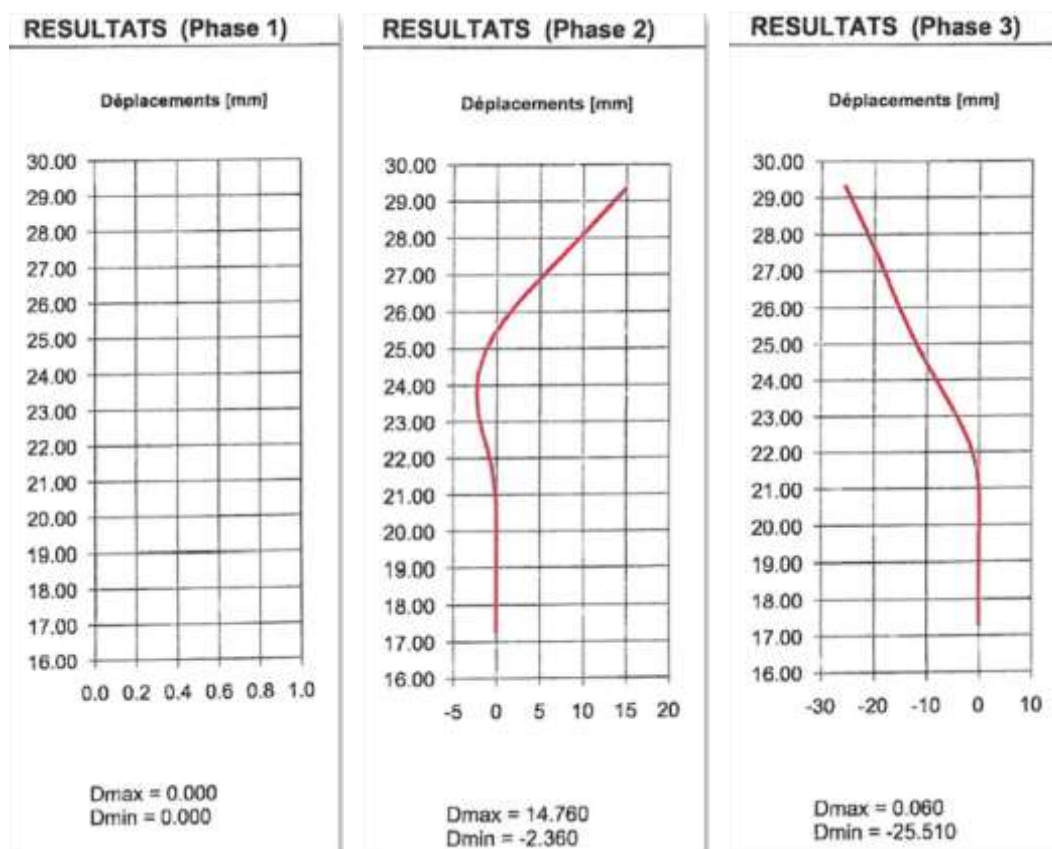
CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

On constate que les déplacements sont plus importants en phase 2 qu'en phase 1. Or, à système équivalent, l'ajout d'une surcharge augmente les déplacements côté rivière. Bien que le delta de déplacement ne soit que minime, il montre bien les limites de la méthode employée. L'exemple du quai n°3 montre ses limites de façon plus significative.

Ci-dessous les deux phases telles qu'elles ont été modélisées dans le rapport rapport pour le quai n°3:



On observe les déformées suivantes :



On constate, pour la phase 2, un déplacement du rideau côté quai. Au regard du fait que les tirants mis en place sont des tirants passifs, il apparaît que la modélisation étudiée ne traduit pas le comportement réel du rideau.

CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

Ce qui laisse donc penser que les sollicitations extraites des modélisations présentées dans le rapport diagnostic ne sont pas représentatives du comportement réel du rideau.

#### 4.1.6. Analyse du paragraphe : « Tassement sous la grue »

Dans ce paragraphe, l'entreprise GINGER CEBTP détermine les tassements susceptibles de se produire. Pour cela, l'entreprise GINGER prend comme hypothèse, pour les quais 1 et 2, que « *les tassements vont se développer dans les sables en remblais et la couche d'argile sableuse* ». Par conséquent, elle considère « *les formations sous-jacentes comme incompressibles* ».

De cette hypothèse des calculs de tassement par méthode pressiométrique, le rapport annonce des tassements inférieurs à 1cm pour les quais 1 et 2.

Une note interne nous a été transmise par la CCI de l'Oise. Cette note évoque l'historique d'aménagement du port de Nogent-sur-Oise ainsi que les problèmes de fragilité des quais construits. Il est mentionné dans cette note différents désordres :

- **En septembre 1977** : Constat de l'effondrement de la chaussée en arrière du quai. Détérioration qui a nécessité l'arrêt des manutentions portuaires. Concernant le quai n°1 (entrepôt) des vides sous chaussée de faible importance sont constatés à 6,4m du bord aval de l'effondrement. Concernant le quai n°2 (silos), il est mentionné que « L'effondrement semble dû au tassement anormal du remblai accentué par une fuite de matériaux à travers les trous de palplanches ».
- **Aout 1991** : Constat d'affaissements importants de certaines parties de quais avec par endroit des trous plus ou moins profonds (plus de 0,50m) et la formation de galerie sous le bitume. Tassement général le long des bordures de quais qui crée, à la moindre pluie, des flaques d'eau qui s'infiltrant et contribuent à ces détériorations.

La lecture de ces deux documents nous amène à poser plusieurs interrogations :

- Est-ce que les tassements mentionnés dans le rapport diagnostic n'ont pas été estimés avec des caractéristiques mécaniques trop optimistes ?
- Est-ce qu'à l'heure d'aujourd'hui, les tassements des différentes couches de sol sont terminés ?

Il semble important d'effectuer des essais sur site afin de déterminer si des tassements sont encore susceptibles de se produire ou non, ceci afin d'éviter de nouveaux désordres tels que ceux déjà rencontrés.

## 4.2. ANALYSE ET OBSERVATIONS SUR LE HYPOTHESES PRISES EN COMPTE

### 4.2.1. Hypothèses géotechniques

#### Observations sur les caractéristiques Em et pl issue des sondages pressiométriques

Pour l'étude de stabilité des quais, l'entreprise GINGER a effectué plusieurs sondages pressiométriques (8 pour chaque quai). Le rapport mentionne que les calculs de stabilité ont été effectués à partir des

CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

coupes géotechniques moyennes. Ces coupes ont été basées sur les sondages les plus défavorables de manière à aller dans le sens de la sécurité.

Cependant, il est à noter que, dans le rapport d'investigation géotechnique, un seul sondage pressiométrique est présenté pour chaque quai. Il semblerait que les caractéristiques mécaniques présentées dans le tableau synthèse, ne soit issues que des résultats de ces sondages.

Autrement dit, les tableaux synthèse ne sont établis qu'à partir d'un seul sondage et d'une seule valeur pour les caractéristiques  $E_m$  et  $p_l$  (module pressiométrique et pression limite).

L'entreprise GINGER justifie cette hypothèse en raison du manque d'information sur les caractéristiques mécaniques des tirants. Cependant, les caractéristiques mécaniques prises en compte dans les calculs sont elles-mêmes les plus défavorables (choix de la nuance d'acier la moins résistante). D'autant qu'il paraît difficilement probable qu'un seul sondage regroupe à la fois l'ensemble des pressions limite les plus défavorables pour chaque couche. Il semblerait plus judicieux de faire une moyenne des différents résultats (qu'elle soit arithmétique, géométrique ou harmonique).

#### **Observations sur les paramètres $c$ et $\varphi$ prises en compte**

Les hypothèses prise en compte pour les paramètres  $c$  et  $\varphi$  amènent les remarques suivantes :

- Les valeurs de  $c=0$  kPa (pour la cohésion) et  $\varphi=15^\circ$  (pour l'angle de frottement) prises en compte pour la couche d'argile sableuse sont semblables aux paramètres pris en compte en présence d'une mauvaise tourbe.
- Les valeurs de  $c=100$  kPa  $\varphi=40^\circ$  semble vraiment très optimiste. A titre de comparaison, dans le cas d'une simulation d'une épaisseur de béton dans les calculs de stabilité, on utilise usuellement les valeurs de  $c=25$  kPa et  $\varphi=45^\circ$ .

De plus, les paramètres  $c$  et  $\varphi$  sont extrapolés à partir des essais pressiométriques, essais in situ adaptés pour des sols fins et homogènes (sans blocs) ce qui n'est pas le cas ici. La mesure de ces paramètres devrait se faire directement à partir d'essai de laboratoire (essai de cisaillement réalisé à partir d'échantillon intact). La réalisation de tels essais à partir de sondages géologiques permettrait de confirmer ou infirmer les hypothèses géotechniques présentées dans le rapport diagnostic.

#### **Observations sur les caractéristiques de la rivière**

Il est à noter que les calculs ont été menés en prenant en considération les plans d'époque datant de 1973 pour le quai n°1 (entrepôt) et 1975 pour le quai n°2 (silos). Sur ces plans, le fond de rivière est situé au niveau 22,27 et mes niveaux d'eau à 26.27. Il convient de s'assurer que ces derniers n'ont pas été modifiés au cours de ces dernières années (travaux de dragage / curage, modification du niveau hydraulique) car cela peut avoir un impact significatif sur la stabilité des quais.

CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

#### 4.2.2. Hypothèses sur les caractéristiques géométriques / mécaniques de la structure

##### Observations concernant la corrosion des palplanches

Le BET prend en compte une corrosion de 2mm afin de prendre en considération l'âge actuel des palplanches en considérant une durée de vie supplémentaire de 25 ans. Or il semblerait au regard des inerties annoncées, que les 2mm d'épaisseur sacrifiés à la corrosion ne soient pris en compte que sur une seule face du rideau de palplanches.

	Inertie Non corrodée	Inertie (corrodé GINGER)	Inertie (corrodée à 2 faces)	Ratio
SL5	14700	11500	8990	23 %
PU12	21600	17190	12780	26 %

#### 4.2.3. Hypothèses de surcharges

Les surcharges appliquées sur le terrain correspondent aux surcharges dues à la présence de la grue mobile. Nous ne disposons pas de la documentation technique de la/les grue(s). Cependant, au regard des informations présentes dans le rapport et de la modélisation sur K-REA, on peut en déduire les éléments suivants :

- Surface d'application : 3,00 x 2,35m
- Mise en place de deux grues espacées de 6m (cf modélisation K-REA)

Cependant, plusieurs estimations sont effectuées quant aux surcharges de la grue :

- Pour le quai n°1 : sont considérées des hypothèses de surcharges de 60 kPa et 90 kPa à 2,4m du rideau
- Pour le quai n°2 : est considérée une hypothèse de surcharges de 45 kPa à 2,4m du rideau
- Pour le quai n°3 : est considérée une hypothèse de surcharges de 90 kPa à 1,0m du rideau
- Le CCTP parle d'une pression de 10 t/m<sup>2</sup>

Plusieurs explications peuvent justifier les différences de valeurs :

- Une documentation technique recommande une pression en fonction du type de grue, ce qui explique la dérogation au 10 t/m<sup>2</sup> préconisé dans le CCTP,
- L'entreprise a cherché à définir les surcharges maximales que peut admettre la structure du quai.

#### 4.2.4. Hypothèses de calcul

Les observations suivantes s'ajoutent à celles émises dans la section précédente (analyse de la méthode de calcul)

CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

### 1er observation

Pour le calcul des tirants, le rapport mentionne une corrosion de 1.35mm au bout de 75 ans (page 13/26 du rapport diagnostic). Or ce taux de corrosion n'est précisé dans aucun des règlements de calculs usuels.

	25 ans	50 ans	75 ans	100 ans
Sols ou remblais peu corrosifs	0,25	0,60	0,70	0,80
Sols ou remblais moyennement corrosifs	1,00	1,60	2,00	2,50
Sols ou remblais fortement corrosifs	2,50	4,00	5,00	6,00

Figure 10: Taux de corrosion selon fasc 62 Titre V

Tableau 4.1 — Valeurs recommandées pour perte d'épaisseur [mm] due à la corrosion dans le cas des pieux et palplanches dans le sol, avec ou sans nappe phréatique					
Durée d'utilisation de projet	5 ans	25 ans	50 ans	75 ans	100 ans
Sols naturels intacts (sable, limon, argile, schiste, ....)	0,00	0,30	0,60	0,90	1,20
Sols naturels pollués et sites industriels	0,15	0,75	1,50	2,25	3,00
Sols naturels agressifs (marais, marécages, tourbe...)	0,20	1,00	1,75	2,50	3,25
Remblais non compactés et non agressifs (argile, schiste, sable, limon, ....)	0,18	0,70	1,20	1,70	2,20
Remblais non compactés et agressifs (cendres, scories....)	0,50	2,00	3,25	4,50	5,75
Notes :					
1) Les taux de corrosion dans les remblais compactés sont inférieurs à ceux observés dans les remblais non compactés. Dans les remblais compactés, il convient de diviser par deux les chiffres du tableau.					
2) Les valeurs données pour 5 ans et 25 ans sont basées sur des mesures, tandis que les autres valeurs sont extrapolées.					

Figure 11 : Taux de corrosion selon l'EC-3-5

### 2<sup>ème</sup> observation

Les modules de résistance ( $I/v$ ) utilisés pour la vérification des contraintes dans le rideau de palplanches sont les modules en section non corrodée. Il convient de faire la vérification en section corrodée à 75 ans.

### 3<sup>ème</sup> observation

Les niveaux d'eau relevés lors de la campagne de reconnaissance signalent la présence d'eau :

- Pour le quai n° 1, à des profondeurs de l'ordre de 2 à 3 m par rapport au TN
- Pour le quai n° 2, à des profondeurs de l'ordre de 2,5 à 3 m par rapport au TN
- Pour le quai n° 3, à des profondeurs de l'ordre de 2,5 à 3 m par rapport au TN



CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

Il semble donc plus judicieux de réaliser les calculs en tenant compte des niveaux d'eau les plus défavorables (2,0m pour le quai n°1) et non avec un niveau d'eau identique à celui de la rivière comme sur les modélisations K-REA présentée.

#### **4<sup>ème</sup> observation**

Les inclinaisons de poussée et en butée sont prise en compte comme étant :

- $\delta_a/\varphi' = 0$
- $\delta_p/\varphi' = 0$

Usuellement non prenons en compte les valeurs suivantes :

- $\delta_a/\varphi' = 0$
- $\delta_p/\varphi' = -2/3$

CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

## 5. Réalisation de calculs comparatifs

Nous proposons dans cette partie d'effectuer des calculs comparatifs avec une méthode de calcul plus adaptée dans le but d'évaluer les éventuels écarts avec la méthode de calcul proposée par l'entreprise GINGER.

Nous nous baserons dans un premier temps sur des hypothèses géotechniques identiques à celle prises en compte dans le rapport diagnostic et analyserons les résultats (étude n°1). Nous effectuerons ensuite une modification des paramètres géotechniques qui nous semblent relativement optimistes (notamment les paramètres de cohésion et de frottement des couches de sol situées en profondeur) et vérifierons leur influence (étude n°2).

**ATTENTION : Les calculs qui vont suivre n'ont qu'un but comparatif. En aucun cas ils ne constituent des éléments exploitables pour la justification des structures étudiées.**

Les calculs sont basés sur l'étude du quai n°1.

### **Résultats de l'étude n°1**

En considérant les hypothèses géotechniques présentées dans le rapport diagnostic. On obtient les résultats suivants :

	<b>Résultats Rapport GINGER</b>	<b>Résultats Etude n°1</b>	<b>Ratio</b>
<b>Rapport des butées</b>	28,4	12,4	44 %
<b>Déplacements [mm]</b>	24,0	14,8	62%
<b>Moment max [kN.m]</b>	96	89	93 %
<b>Traction en phase 1 [kN/ml]</b>	52	57,8	111 %
<b>Traction en phase 2 [kN/ml]</b>	101	101,5	100 %

CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

## **Résultats de l'étude n°2**

### **Cas 1 :**

Seul les paramètres géotechniques sont modifiés pour les couches situées sous le niveau 24.4. On remplace les paramètres  $c$  et  $\phi$  par  $c=10$  kPa et  $\phi=35^\circ$ .

	<b>Résultats Rapport GINGER</b>	<b>Résultats Etude n°2 (cas1)</b>	<b>Ratio</b>
<b>Rapport des butées</b>	28,4	2,7	10 %
<b>Déplacements [mm]</b>	24,0	28,7	120 %
<b>Moment max [kN.m]</b>	96	135,6	141 %
<b>Traction en phase 1 [kN/ml]</b>	52	77	148 %
<b>Traction en phase 2 [kN/ml]</b>	101	124	123 %

### **Cas 2 :**

En plus des paramètres géotechniques, on modifie le niveau d'eau côté quai en considérant une présence d'eau à -2,0 m par rapport au TN.

	<b>Résultats Rapport GINGER</b>	<b>Résultats Etude n°2 (cas2)</b>	<b>Ratio</b>
<b>Rapport des butées</b>	28,4	2,4	8 %
<b>Déplacements [mm]</b>	24,0	37,2	155 %
<b>Moment max [kN.m]</b>	96	159,7	166 %
<b>Traction en phase 1 [kN/ml]</b>	52	92,2	177 %
<b>Traction en phase 2 [kN/ml]</b>	101	137,7	136 %

Les résultats de l'étude n°1 montrent des résultats proches de ceux présentés dans le rapport diagnostic pour les efforts de traction est le moment de flexion maximum. Cependant des différences notables sont marquées pour les rapports de butée ainsi que les déplacements maxi.

Dès lors que les paramètres géotechniques sont modifiés, les rapport de butée sont nettement en baisse (à peine 10 % des rapport annoncés dans le rapport diagnostic) et les efforts nettement augmentés (une augmentation jusqu'à 77% des efforts de traction dans les tirants et 66% des sollicitations max en flexion). Ces résultats traduisent l'influence des paramètres géotechniques dans les calculs de stabilité mais aussi pour la vérification des sections. D'où l'intérêt de s'assurer de prendre des hypothèses les plus proches de la réalité.

Le détail de la modélisation est présenté en Annexe.

CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

## 6. Conclusion

---

Le but de ce rapport était d'établir une analyse des hypothèses et des méthodes de calcul prises en compte pour la vérification des 3 quais de Nogent-sur-Oise.

Il résulte de cette analyse que la méthode de calcul utilisée dans la rapport diagnostic pour le calcul de soutènement n'est pas conventionnelle. Les contre-calculs menés sur la base des hypothèses géotechniques présentées dans le rapport diagnostic montrent que les hypothèses de chargement annoncées par le BET ne sont pas remises en cause. Ceci **sous réserve d'une validation de l'ensemble des paramètres géotechniques et hydrauliques pris en compte dans l'étude de stabilité.**

Les contre-calculs menés sur la base d'hypothèses géotechniques modifiées montrent l'influence des paramètres géotechniques sur le calcul de stabilité. Or, certains paramètres géotechniques correspondent à des valeurs extrêmes. Il est important d'effectuer des essais en laboratoire afin de s'assurer de la fiabilité des caractéristiques géotechniques.



De plus, une vérification complémentaire est à mener au droit des bollards. En effet, la conception originale est de mettre un tirant au droit des bollards. On peut donc considérer que les efforts agissant sur les bollards sont directement transmis dans le tirant au droit de celui-ci. Si la capacité des bollards est amenée à être modifiée, il convient de s'assurer que les tirants puissent accepter les efforts qui en résultent.

En l'état de ces hypothèses géotechniques, la bande de 2,4m neutralisée aux abords du rideau de palplanches est un minimum nécessaire pour un chargement de 9t/m<sup>2</sup>.

CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

## Table des Annexes

---

 Annexe 1	Modélisation de l'étude n°1
 Annexe 2	Modélisation de l'étude n°2



CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

## ANNEXE 1

---

### MODELISATION DE L'ETUDE N°1

CCIO	Port fluvial de Nogent sur Oise	Version 1	
18/04/2013	Rapport d'analyse du Diagnostic géotechnique	Rédacteur : SB Visa : PhD / VF	

## ANNEXE 2

---

### MODELISATION DE L'ETUDE N°2